تشریح Digital Twin

مقدمه

Digital Twins به طور یکسان توجه پزشکان و محققان را به خود جلب می کند. امروزه این فناوری در بسیاری از صنایع برای ارائه نمایش های مجازی دقیق از اشیا و شبیه سازی فرآیندهای عملیاتی استفاده می شود. در سال ۲۰۱۹، یک نظرسنجی گارتنر نشان داد که Digital Twins در حال ورود به جریان اصلی استفاده توسط سازمان ها هستند. این نظرسنجی، پیش بینی کرد که ۷۵ درصد از سازمان های اینترنت اشیا نیز از فناوری دوقلو دیجیتال استفاده می کنند یا قصد دارند تا سال ۲۰۲۰ از آن استفاده کنند. گارتنر همچنین تخمین می زند که تا سال ۲۰۲۷، بیش از ۴۰ درصد از شرکت های بزرگ در سراسر جهان از Digital Twin در پروژه های خود برای افزایش درآمد استفاده خواهند کرد [۳-۱].

علاوه بر این، Global Market Insight تخمین زده است که اندازه بازار دیجیتال دوقلو که در سال ۲۰۲۲ حدود ۸ میلیارد دلار تخمین زده می شود، انتظار می رود که از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۲ حدود ۲۵ درصد رشد سالانه مرکب (CAGR) رشد کند [۴]. در نهایت، طبق گزارش اخیر دیگری توسط تحقیقات فناوری جهانی، بازار دوقلو دیجیتال قرار است از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶ نزدیک به ۳۲ میلیارد دلار رشد کند [۵]. علاوه بر این، طبق گزارشی در سال ۲۰۲۲، نزدیک به ۶۰ درصد از مدیران در طیف وسیعی از صنعت قصد دارند تا سال ۲۰۲۸، Digital Twins را در عملیات خود بگنجانند [۶].

Digital Twins یک فناوری پیشرفته است که با انعکاس تقریبا تمام جنبه های یک محصول، فرآیند یا خدمات، صنعت را متحول کرده است. Digital Twins این پتانسیل را دارد که همه چیز را در دنیای فیزیکی در فضای دیجیتال تکرار کند و بازخورد دنیای مجازی را برای مهندسان فراهم کند [۷]. در نتیجه، این فناوری، شرکت ها را قادر می سازد تا به سرعت مشکلات فیزیکی را شناسایی و حل کنند، محصولات بهتری را طراحی و بسازند و ارزش و مزایا را سریع تر از آن چه قبلا ممکن بود، درک کنند. علاوه بر این، فناوری Digital Twins ، کسب و کارها را قادر می سازد تا فرآیندها و عملکرد تجاری را بهبود بخشند [۸].

www.nrre.com

در سال ۲۰۰۳، پروفسور گریوز[1] از دانشگاه میشیگان، مفهوم Digital Twins را در دوره مدیریت چرخه عمر کل محصول معرفی کرد. همچنین به عنوان آینه دیجیتال و نگاشت دیجیتال شناخته می شود. از آن زمان، تعریف Digital Twins هم چنان به تکامل خود ادامه داده است، زیرا چندین محقق تعاریف متنوعی از این فناوری ارائه کرده اند [۱۱-۹]. دایره‌المعارف مهندسی تولید بیان می کند که Digital Twins نمایشی از یک محصول منحصربه فرد فعال است که می تواند یک دستگاه واقعی، شی، ماشین، خدمات، دارایی نامشهود یا سیستمی متشکل از یک محصول و خدمات مرتبط با آن باشد [۱۲]. به طور کلی، Digital Twins به عنوان بازنمایی مجازی از اشیای فیزیکی در سراسر چرخه حیات تعریف می شود که می توانند با داده های بلادرنگ یا یک مدل شبیه سازی که داده ها را از میدان به دست می آورند، درک کنند، یاد بگیرند و استدلال کنند و عملکرد دستگاه‌های فیزیکی را آغاز نمایند [۱۶، ۱۵].

علاوه بر این، Digital Twins به عنوان همگرایی بین محصولات فیزیکی و مجازی تعریف شد [۱۸، ۱۷]. در [۷]، Digital Twins را به عنوان یک نمایش دیجیتالی بلادرنگ از یک شی فیزیکی در نظر گرفتند. آن ها از راه دور به اشیای واقعی متصل هستند و بازنمایی غنی از این اشیا را ارائه می دهند. آن ها فراتر از طرح های محصول ایستا، مانند مدل های CAD هستند، اما رفتار پویا را شامل می شوند [۱۹، ۲۰]. یک کپی مجازی از یک دارایی در دنیای واقعی از طریق انتقال ثابت داده به دست می آید که به نسخه دیجیتالی شی امکان می دهد همزمان با نسخه فیزیکی وجود داشته باشد. Digital Twins از فناوری داده های بزرگ برای استخراج داده های پنهان و موثر و بهبود هوش و کاربرد فناوری Digital Twins، به ویژه برای شناسایی و ارزیابی سریع نقص های طراحی استفاده می کند [۲۱]. در نهایت، در [۱۳]، Digital Twins را در حوزه تولید بر اساس سطح یکپارچه سازی داده ها تعریف کردند که می تواند بین محصول فیزیکی و نمایش مجازی آن به دست آید. این مرجع، سه سطح ادغام را شناسایی کرد، مدل دیجیتال، سایه دیجیتال، سایه و Digital Twins [۱۳، ۲۲].

اولین کاربرد تاریخی فناوری Digital Twins زمانی است که مهندسان ناسا از یک شبیه ساز، دوقلو ماژول فرمان و یک دوقلو جداگانه از سیستم الکتریکی ماژول برای اصلاح و نجات آپولو ۱۳ در سال ۱۹۷۰ استفاده کردند. مهندسان ناسا این فرآیند را در کمتر از دو ساعت به پایان رساندند و جان سه فضانورد را نجات دادند. این یک کاربرد

[1] Grieves

اولیه فوق العاده از این فناوری بود و این فناوری تنها از آن زمان به بلوغ رسیده است [۲۳]. امروزه ناسا از Digital Twins برای توسعه وسایل نقلیه و هواپیماهای نسل بعدی استفاده می کند.

مفهوم Digital Twins جدید نیست. با این حال، Digital Twins در سال های اخیر بسیار سریع تر از ایده به واقعیت حرکت کرده اند. پیش بینی می شود که Digital Twins با فناوری های بیشتری مانند قابلیت های گفتاری، واقعیت افزوده، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی ترکیب شود. در نتیجه، گارتنر Digital Twins را در فهرست ۱۰ گرایش فناوری برتر خود برای سال ۲۰۱۷ قرار داد [۲۴]. گارتنر همچنین پیش بینی کرد که نیمی از شرکت های صنعتی بزرگ تا سال ۲۰۲۱ از Digital Twins در برنامه های تجاری حیاتی استفاده خواهند کرد [۲۴]. در نهایت، تحقیقات MarketsandMarkets به لطف افزایش علاقه به صنعت تولید برای کاهش هزینه و بهبود عملیات زنجیره تامین، رشد سریع فناوری Digital Twins را طی چند سال آینده پیش بینی کرد. در نتیجه، ارزش بازار فناوری Digital Twin در سال ۲۰۲۲ به ۶,۹ میلیارد دلار رسید. با این حال، انتظار می رود تا سال ۲۰۲۷ به ۷۳,۵ میلیارد دلار برسد CAGR - بیش از ۶۰ درصد [۲۵].

سه جنبه اصلی Digital Twins عبارتند از اکتساب داده، مدل سازی داده و کاربرد داده [۲۶]. Digital Twins از چهار فناوری برای جمع آوری و ذخیره داده های بلادرنگ، به دست آوردن اطلاعات برای ارائه بینش های ارزشمند و ایجاد یک نمایش دیجیتالی از یک شی فیزیکی استفاده می کند. این فناوری ها عبارتند از اینترنت اشیا (IoT[1]) ، هوش مصنوعی (AI[2]) ، واقعیت توسعه یافته (XR[3]) و ابر[4]. علاوه بر این، Digital Twins از یک فناوری خاص بسته به نوع کاربرد، به میزان کم یا زیاد استفاده می کند. فناوری های Digital Twins به صورت شکل (۱) است.

- ✓ اینترنت اشیا: اینترنت اشیا به یک شبکه غول پیکر از اشیای متصل اشاره دارد. ارتباط بین اشیا-اشیا، مردم-اشیا یا مردم- مردم-مردم [۲]. Digital Twins از اینترنت اشیا به عنوان فناوری اصلی خود در هر برنامه ای استفاده می کند. تا سال ۲۰۲۷، بیش از ۹۰ درصد از تمام پلتفرم های اینترنت اشیا دارای قابلیت Digital Twins خواهند بود [۶]. اینترنت اشیا از حسگرها برای جمع آوری داده ها از اشیای دنیای واقعی استفاده می کند. داده های منتقل شده توسط اینترنت اشیا برای ایجاد یک کپی دیجیتالی از یک شی فیزیکی استفاده

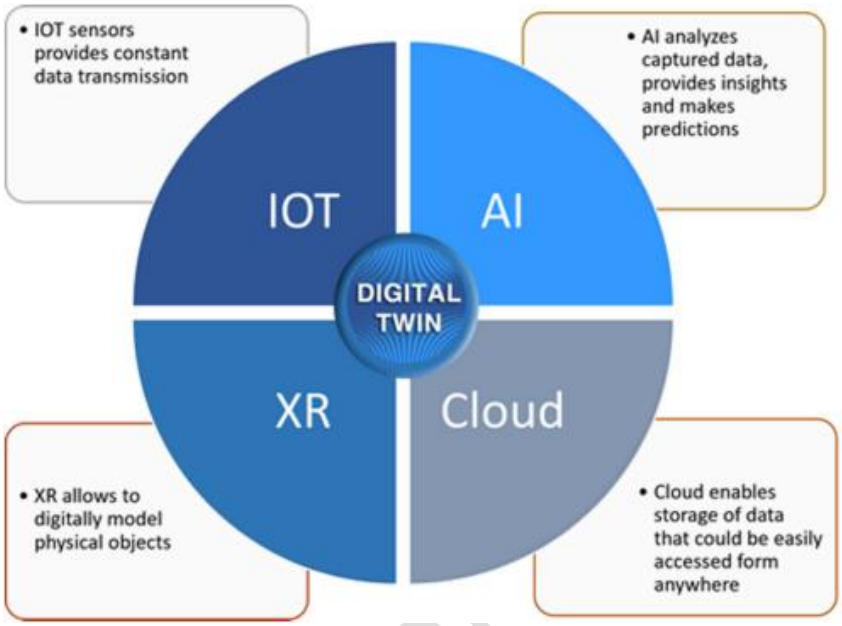
[1] Internet of Things
[2] Artificial Intelligence
[3] Extended Reality
[4] Cloud

می شود. سپس نسخه دیجیتال می تواند تجزیه و تحلیل، دستکاری و بهینه سازی شود. اینترنت اشیا دائماداده ها را به روز می کند و به برنامه های کاربردی Digital Twin کمک می کند تا یک نمایش مجازی در زمان واقعی از یک شی فیزیکی ایجاد کنند. بنابراین، هر برنامه Digital Twin از اینترنت اشیا به عنوان یک فناوری اولیه استفاده می کند.

- ✓ رایانش ابری: رایانش ابری به ارائه خدمات میزبانی شده از طریق اینترنت اشاره دارد. این فناوری به طور موثر داده ها را از طریق اینترنت ذخیره می کند و به آن ها دسترسی پیدا می کند [۲۷]. رایانش ابری به Digital Twins فناوری محاسبات داده و فناوری ذخیره سازی داده های ابری را ارائه می دهد. رایانش ابری به Digital Twins اجازه می دهد تا با حجم زیادی از داده ها، داده ها را در فضای مجازی ابر، ذخیره کند و به راحتی از هر مکانی به اطلاعات مورد نیاز دسترسی پیدا کند. رایانش ابری Digital Twins را قادر می‌سازد تا زمان محاسبات سیستم های پیچیده را به طور موثر کاهش دهد و بر مشکلات ذخیره سازی‌مقادیر زیادی داده غلبه کند [۲۸].
- ✓ هوش مصنوعی: به عنوان یک رشته از علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی به دنبال تقلید از اساس هوش برای ایجاد یک ماشین هوشمند جدید است که قادر به پاسخگویی مانند هوش انسان به انسان است. زمینه های مطالعه هوش مصنوعی شامل رباتیک، تشخیص تصویر و تشخیص زبان است. به کمک شبکه های عصبی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، و سیستم‌های خبره [۲۹]، هوش مصنوعی می تواند با ارائه یک ابزار تحلیلی پیشرفته که قادر به تجزیه و تحلیل خودکار داده های به دست آمده و ارائه بینش های ارزشمند، پیش بینی هایی درباره نتایج و ارائه پیشنهادهایی در مورد چگونگی انجام آن، به Digital Twins کمک کند.
- ✓ واقعیت توسعه یافته: اصطلاحی است که برای توصیف فناوری های فراگیر مانند واقعیت مجازی (VR[1])، واقعیت افزوده (AR[2]) و واقعیت ترکیبی (MR[3]) استفاده می شود. این فناوری ها می توانند دنیای فیزیکی و مجازی را ادغام کنند و واقعیتی را که ما تجربه می کنیم گسترش دهند [۳۰]. واقعیت توسعه یافته، نمایش های دیجیتالی از اشیا را ایجاد می کند که در آن اشیای دیجیتال و دنیای واقعی با هم وجود دارند و در زمان

[1] Virtual Reality
[2] Augmented Reality
[3] Mixed Reality

واقعی با هم تعامل دارند. Digital Twins از قابلیت های واقعیت توسعه یافته برای مدل سازی دیجیتالی اشیای فیزیکی استفاده می کند و به کاربران اجازه می دهد با محتوای دیجیتال تعامل داشته باشند.



شکل (۱)، فناوری های Digital Twins

کاربردها و مولفه های Digital Twins

امروزه، مهندسی و تولید عمدتا از Digital Twins برای ارائه نمایش مجازی دقیق از اشیا و شبیه سازی فرآیندهای عملیاتی استفاده می کنند. کاربردهای Digital Twins در عملیات و مدیریت زنجیره تامین، به ویژه نقش Digital Twins از نظر قابلیت ردیابی عملیات، نگهداری حمل و نقل، کمک از راه دور، تجسم دارایی، و سفارشی سازی طراحی، در نشریات مرتبط بررسی شده است [۳۸-۳۳]. این فناوری آماده است تا به بسیاری از وعده های خود در سایر صنایع، از جمله خودروسازی، هوافضا، ساخت و ساز، کشاورزی، معدن، آب و برق، خرده‌فروشی، مراقبت های بهداشتی، نظامی، منابع طبیعی و بخش های ایمنی عمومی عمل کند [۵۰-۳۴] (شکل ۲). این فناوری تخیل دانشمندان، مدیران و شاغلان در سراسر جهان را به خود جلب کرده است و کاربردهای تجاری متعددی از این فناوری در ادبیات ظاهر شده است [۵۰].

شکل (۲)، صنایع با استفاده از Digital Twins

کاربرد Digital Twins در صنعت ساخت و ساز و تولید

صنعت تولید در حال تحول سریعی است. در نتیجه، علاقه به بهره برداری از فناوری هایی مانند Digital Twinsدر صنعت تولید در حال افزایش است. فناوری Digital Twins پتانسیل زیادی برای طیف وسیعی از فعالیت ها در صنعت تولید دارد و می تواند چهره تولید را به طور اساسی تغییر دهد [۵۱]. Industry 4.0 پیشرفت های تکنولوژیکی را در ابزارهای سنجش، نظارت و تصمیم گیری فعال کرده است. این پیشرفت ها به پیاده سازی دقیق Digital Twins برای نظارت و بهینه سازی در زمان واقعی فرآیند کمک کرد. موارد استفاده بالقوه زیادی برای Digital Twins در تولید وجود دارد، از جمله نظارت، شبیه سازی و کنترل از راه دور دارایی های فیزیکی با اشیای مجازی. علاوه بر این، فناوری Digital Twins می تواند با درک بهتر نیازهای مشتریان، توسعه پیشرفت ها در محصولات، عملیات و خدمات موجود و کمک به هدایت نوآوری های تجاری جدید، به تولید در بهبود رضایت مشتری کمک کند [۵۲]. با استفاده از قدرت Digital Twins، شرکت های تولیدی می توانند از واکنش پذیری به پیش بینی حرکت کنند. آن ها می توانند زمان فرسوده شدن تجهیزات یا نیاز به تعمیر را پیش بینی کنند، عملکرد دستگاه را بهبود بخشند، عمر خود را افزایش دهند و یاد بگیرند که چگونه دوباره طراحی کنند تا کارهای بیشتری انجام دهند. به‌علاوه، Digital Twins آن ها را قادر می سازد تا طراحی مبتنی بر استفاده و تجزیه و تحلیل های پیش فروش را انجام دهند و به فرآیندهای دستی برای افزایش دید به نیازهای مشتری و غیره هوشمند اضافه کنند.

www.nrre.com گروه نامیرا

کاربرد Digital Twins در طراحی محصول

معرفی محصولات یا خدمات جدید می تواند تاثیراتی در سراسر سازمان داشته باشد. علاوه بر این، طراحی محصول و خدمات دارای پیامدهای استراتژیک برای موفقیت یک سازمان است. در نتیجه، تصمیم گیری در مورد طراحی محصول و خدمات از اساسی ترین تصمیماتی است که مدیران باید اتخاذ کنند. Digital Twin یک کپی مجازی از یک دارایی تولیدی ارائه می کند که داده ها را جمع آوری می کند و توانایی ایجاد، ساخت، آزمایش و اعتبارسنجی تجزیه و تحلیل و اتوماسیون پیش‌بینی‌کننده را فراهم می نماید. مهندسان می توانند از نمونه اولیه مجازی تولید شده توسط Digital Twins در مرحله طراحی برای آزمایش طرح های مختلف قبل از سرمایه گذاری در یک نمونه اولیه استفاده کنند [۵۳]. این امر باعث کاهش تعداد نمونه های اولیه، صرفه جویی در زمان و کاهش هزینه تولید می شود. علاوه بر این، مهندسان و طراحان می توانند از داده های جمع آوری شده در طول زمان برای بهبود انتظارات مشتری در مورد کیفیت محصول، سفارشی سازی و سهولت استفاده استفاده کنند [۵۱].

کاربرد Digital Twins در طراحی و بهینه سازی فرآیند

Digital Twins به سازندگان کمک می کند تا فرآیندها را تحت شرایط عملکردی متعدد مشاهده کنند و مشکلات را قبل از وقوع آن ها برطرف کنند. این امر به سازندگان اجازه می دهد تا از واکنش پذیری به پیش بینی حرکت کنند. علاوه بر این، Digital Twins به تبدیل دارایی های موجود به ابزارهایی کمک می کند که فرآیندها را بهینه می کنند، در هزینه ها صرفه‌جویی می کنند و نوآوری را تسریع می کنند [۵۳].

کاربرد Digital Twins در مدیریت زنجیره تامین

چرخه ابدی افزایش هزینه های زنجیره تامین بر روی نتایج نهایی همه بازیکنان تاثیر می گذارد. در نتیجه، تولیدکنندگان، خرده فروشان و توزیع کنندگان کاهش هزینه زنجیره تامین را حیاتی تشخیص داده اند. علاوه بر این، عملکرد عالی زنجیره تامین دارای ارزش استراتژیک است که می تواند منجر به بازپرداخت سریع مالی، اغلب در عرض چند ماه و بهبود بهره وری و سود شود [۵۴]. فناوری Digital Twins می تواند چالش های زنجیره تامین،

از جمله عملکرد بسته بندی، مدیریت ناوگان و کارایی مسیر را حل کند [۵۵]. به علاوه، Digital Twins می تواند به بهینه سازی تولید به موقع یا فقط در توالی و تجزیه و تحلیل مسیرهای توزیع کمک کند. این فناوری همچنین در سایر مراحل حیاتی مدیریت زنجیره تامین، از جمله شروع محصول، توسعه محصول و توزیع محصول، مفید است. به طور خاص تر، Digital Twins به ردیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد بسته بندی، مدیریت ناوگان و کارایی مسیر کمک می کند [۵۶، ۵۷].

کاربرد Digital Twins در تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر پیش بینی زمان برنامه ریزی تعمیر و نگهداری برای یک جزء یا سیستم برای کاهش هزینه و افزایش زمان کارکرد ماشین تمرکز دارد [۵۸]. Digital Twins می تواند تجهیزات یا فرآیندهای تولیدی را برای شناسایی واریانس هایی که نیاز به تعمیرات یا نگهداری پیشگیرانه را نشان می دهند، مدل سازی کند. هدف تخمین، پیش بینی، تشخیص یا شناسایی وضعیت یک جزء یا یک سیستم برای تعمیر و نگهداری به طورموثرتر است. این امر از شکست پُرهزینه قبل از بروز مشکل جدی جلوگیری می کند. آن ها همچنین می توانند تعیین کنند که آیا می توان از مواد یا فرآیندهای بهتری استفاده کرد یا به بهینه سازی زمان های چرخه، سطوح بار و کالیبراسیون ابزار کمک کرد.

کاربرد Digital Twins در همکاری متقابل

Digital Twins اغلب برای جمع آوری داده های عملیاتی در طول زمان استفاده می شوند. این داده ها بینشی در مورد عملکرد محصول، توزیع و تجربه کاربر نهایی ارائه می دهد و می تواند توسط مهندسی، تولید، فروش و بازاریابی به اشتراک گذاشته شود. کارمندان در سراسر رشته ها می توانند همه از داده های یکسان برای تصمیم گیری آگاهانه تر استفاده کنند.

کاربرد Digital Twins در کشاورزی

صنعت کشاورزی برای عملکرد هر اقتصادی ضروری است. این صنعت منبع مهمی از مواد غذایی و مواد خام است. همچنین منبع حیاتی فرصت های شغلی برای کل جمعیت است. محصولات زراعی، دام و غذاهای دریایی تولید

شده در ایالات متحده، همراه با خدمات غذایی و سایر صنایع مرتبط با کشاورزی، سالانه بیش از ۷۵۰ میلیارد دلار به اقتصاد کمک می کند [۵۹]. علاوه بر این، جمعیت جهان در حال افزایش است و تقاضای بازار برای کمیت و استانداردهای کیفیت بالاتر محصول در حال رشد است و موضوع امنیت غذایی، پایداری، بهره وری و سودآوری را مهمتر می سازد. علاوه بر این، فشار اقتصادی بر بخش کشاورزی و مسائل محیطی و تغییرات آب و هوایی در حال افزایش است [۶۰]. فرآیندهای کشاورزی بسیار پیچیده و پویا هستند، زیرا به شرایط طبیعی مانند آب و هوا، بیماری ها، شرایط خاک، فصلی و آب و هوا بستگی دارند [۶۱]. فناوری Digital Twins این پتانسیل را دارد که به طور قابل توجهی قابلیت های کنترلی مورد نیاز صنعت کشاورزی را با امکان جداسازی جنبه های فیزیکی و اطلاعاتی مدیریت مزرعه افزایش دهد. این فناوری می تواند یک نمایش مجازی از یک مزرعه با پتانسیل بالایی برای افزایش کارایی و بهره وری و در عین حال کاهش مصرف انرژی و هزینه ها ارائه دهد. اگرچه مفاهیم Digital Twins در کشاورزی هوشمند در مراحل ابتدایی و نشان دادن اولیه خود هستند، بسیاری از کشاورزان در حال ادغام فناوری ها و تکنیک های هوشمند هستند که کارایی فرآیند کشاورزی را افزایش می دهد. یک Digital Twins کشاورزی همچنین می تواند در مدل سازی آب و هوا و پیش بینی اثرات بلندمدت تغییرات آب و هوا کمک کند. علاوه بر این، Digital Twins به کشاورزان اجازه می دهد تا مکان و چگونگی منابع سیستم کشاورزی تحت فشار عواملی مانند کیفیت خاک، آلودگی، گیاهان مهاجم، حیوانات یا عوامل دیگر را شناسایی کنند [۶۲]. Digital Twins می تواند به اندازه گیری و درک هر چیزی که می توان درباره محتوا و ظرفیت خاکی که در آن محصولات رشد می کند و دانه ها و محصولاتی که به آن خاک نیاز دارند، کمک کند. با استفاده از Digital Twins، نتایج شبیه سازی شده در طول یک فصل رشد می تواند به سؤالات مربوط به عملکرد مورد انتظار شامل کود مورد نیاز، نور خورشید، آب و غیره پاسخ دهد [۶۴، ۶۳].

کاربرد Digital Twins در بهداشت و درمان و علوم زندگی

راه حل های Digital Twins به طور گسترده در تولید و سایر صنایع استفاده شده است. کاربردهای فناوری Digital Twinsدر صنعت مراقبت های بهداشتی بی حد و حصر است. همه گیری COVID-19 صنعت مراقبت های بهداشتی و علوم زیستی را مجبور کرد تا تلاش ه ای تحول دیجیتال خود را تسریع بخشند. فرآیندهای مراقبت

های بهداشتی دیجیتال برای حمایت از تغییر گسترده به سمت همه گیری باید کارآمدتر شوند. مانند هر صنعت دیگری، صنعت علوم زیستی در حال بررسی راه هایی برای بهبود کارایی و کاهش هزینه ها است. اکنون، ارائه دهندگان تحت فشار هستند تا به صورت دیجیتالی تغییر کنند و با افزایش انتظارات بیماران سازگار شوند. در نتیجه، علاقه به بهره برداری از فناوری هایی مانند Digital Twins در علوم زیستی در حال افزایش است. این فناوری به طور فزاینده ای در کاربردهای علوم زیستی، به ویژه کشف و توسعه داروها کاربرد پیدا می کند [۶۸-۶۵]. به عنوان مثال، یک Digital Twins آزمایشی قلب انسان از یک شرکت نرم افزاری Dassault ایجاد شده است. نرم افزار شرکت، اسکن دو بُعدی انسان را به.یک مدل تمام بُعدی دقیق از قلب یک فرد به نام قلب زنده تبدیل می کند. این مدل واقعی اندام انسان جریان خون، مکانیک و الکتریسیته را محاسبه می کند. مدل قلب زنده اکنون در سراسر جهان برای ایجاد راه های جدید برای طراحی و آزمایش دستگاه های جدید و درمان‌های دارویی استفاده می شود [۶۹]. علاوه بر این، راه حل های Digital Twins برای ایجاد کپی و مدل های دیجیتالی از بیماران، امکانات مراقبت های بهداشتی و دستگاه های پزشکی استفاده می شود. اهداف نظارت، تجزیه و تحلیل و پیش بینی مسائلی مانند شخصی سازی ارائه مراقبت، روابط عمومی است. می توانی از فناوری های Digital Twin برای آزمایش داروهای جدید برای اطمینان از ایمنی و اثربخشی دارو استفاده کرد. هر مرحله از فرآیند توسعه دارو، حجم عظیمی از داده ها را تولید می کند که باید مدیریت شوند. Digital Twin از این داده ها برای ایجاد یک مدل استفاده می کنند [۷۰، ۷۱]. در نتیجه، Digital Twins می تواند کارآزمایی های بالینی را در تحقیقات دارویی سرعت بخشد و به آزمایش های بالینی اجازه می دهد تا سریع تر اجرا شوند و بیماران کمتری باید برای دریافت دارو اختصاص داده شوند [۷۲].علاوه بر این، Digital Twins با کمک به دانشمندان در انتخاب بهترین آنتی ژن برای استفاده که در آن فرآیند توسعه نیز به صورت مجازی انجام می شود، نقش کلیدی در توسعه و تولید واکسن های جدید ایفا خواهد کرد [۷۳].

کاربرد Digital Twins در صنعت خودرو و هوانوردی

رقابت شدید بین تولیدکنندگان برای معرفی خودروهای پیشرفته و نوآورانه، شرکت ها را تشویق به سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه محصولات و اتوماسیون فرآیندها می کند. چندین تولیدکننده خودرو از فناوری های آینده مانند Digital Twins استفاده می کنند، برای مثال از داشبوردهای تعاملی خودرو در وب سایت ها برای

بهبود تعامل با مشتری استفاده می کنند. مشتریان می توانند وسایل نقلیه را به راحتی شخصی سازی کنند. شرکت ها از اطلاعات برای نظارت بر رفتار مصرف کننده و تغییر مدل های موجود استفاده می کنند. فناوری Digital Twins در حال تبدیل شدن به یک حوزه تحقیقاتی جهانی است که در آن محققان پیاده سازی Digital Twins را در جنبه های مختلف وسایل نقلیه هوشمند پوشش می دهند و پتانسیل، فرصت ها و چالش های آن را برای تحقق، کشف می کنند. فناوری Digital Twins نیز به طور گسترده در صنعت هوافضا مورد استقبال قرار گرفته است. این کارها برای تعمیر و نگهداری هواپیما، ردیابی، نظارت بر وزن، تعیین دقیق شرایط آب و هوایی، اندازه گیری زمان پرواز، و تشخیص نقص استفاده می شود [۷۴]. به عنوان مثال، بوئینگ، بزرگ ترین شرکت هوافضای جهان، از راه حل های Digital Twinsبرای بهبود کیفیت و ایمنی قطعات و سیستم های مورد استفاده برای ساخت هواپیماهای تجاری و نظامی استفاده می کند. در نتیجه، بوئینگ ادعا می کند که به بهبود ۴۰ درصدی کیفیت قطعات و سیستم‌های هواپیمای خود دست یافته است [۷۵].

کاربرد Digital Twins در ساخت و ساز و املاک و مستغلات

استفاده از Digital Twins به عنوان کپی مجازی دارایی های فیزیکی در صنایع ساخت و ساز و املاک می تواند انقلابی در مدیریت دارایی ها و پروژه ها ایجاد کند. Digital Twins به عنوان مدل های مجازی یک دارایی فیزیکی شباهت هایی با مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM[1]) دارند که برای سال ها توسط متخصصان صنعت ساختمان استفاده می شود. مدل سازی اطلاعات ساختمان، نمایش دیجیتالی ویژگی های فیزیکی و عملکردی یک ساختمان یا پروژه ساخت و ساز است [۷۶]. این یک منبع دانش مشترک برای اطلاعات در مورد یک ساختمان یا پروژه، از جمله توصیفات هندسی، روابط مکانی، اطلاعات جغرافیایی، کمیت‌ها و ویژگی های اجزای ساختمان فراهم می کند [۷۷]. در حالی که BIM داده های ثابت را ارائه می کند، Digital Twins با استفاده از حسگرها، داده های بلادرنگی را ارائه می دهد که مدیران ساخت و ساز، طراحان یا مشتریانشان می توانند از آن برای ردیابی پروژه ها در زمان واقعی استفاده کنند [۷۸]. با استفاده از Digital Twins، تیم های ساخت و ساز می توانند روند ساخت و ساز را نظارت کنند، مشکلات بالقوه را شناسایی کنند و استراتژی ها را تنظیم کنند تا اطمینان حاصل شود که پروژه

[1] Building Information Modeling

ها به طور ایمن، به موقع و در چارچوب بودجه با کیفیت مورد توافق تکمیل می شوند. علاوه بر این، راه حل های Digital Twins در صنعت ساخت و ساز می توانند به ردیابی منابع دیگر (به عنوان مثال، مواد، نیروی کار، تجهیزات)، نظارت بر ایمنی و اجرای برنامه ریزی منابع و تدارکات کمک کنند [۷۹]. Digital Twins می تواند یک نمای کلی از دارایی فیزیکی در صنعت املاک و مستغلات ارائه دهد و به نمایندگان یا صاحبان املاک اجازه دهد داده های مربوط به عملکرد و شرایط دارایی را جمع آوری و تجزیه و تحلیل کنند. به طور خلاصه، استفاده از Digital Twins در ساخت و ساز و املاک و مستغلات این پتانسیل را دارد که کارایی بی سابقه ای در هزینه، زمان، پایداری و ایمنی ایجاد کند و آن را به ابزاری ارزشمند برای کل صنعت ساختمان تبدیل کند [۸۵-۸۰].

کاربرد Digital Twins در خدمات رفاهی

راه حل های Digital Twin به سرعت در صنعت تولید سنتی، شهر هوشمند و شبکه برق هوشمند ادغام می شوند [۸۶]. پیشرفت های سریع در اتصال از طریق اینترنت اشیا، پتانسیل Digital Twin را به طور چشمگیری در یک شهر هوشمند موثر می کند [۸۷]. پیچیدگی روزافزون سیستم های قدرت فعلی، دیجیتالی شدن دارایی های برق را به یکی از موضوعات مورد بحث در بخش انرژی تبدیل می کند. فناوری Digital Twin می تواند ابزار مفیدی برای بهینه سازی دارایی باشد. می توان آن را در کل بخش انرژی برای دستیابی به نتایج بهینه از نظر نگهداری، برنامه ریزی تولید، کارایی کارخانه و کاهش ریسک اعمال کرد. یک مطالعه اخیر یک شبکه برق دیجیتال مبتنی بر فناوری Digital Twin را پیشنهاد کرد که می تواند کل فرآیند، همه عناصر و همه خدمات شبکه فیزیکی قدرت، مانند رویدادهای انسانی و فیزیکی را دیجیتالی کند [۸۸]. راه حل شبکه برق دیجیتال همچنین می تواند به برنامه ریزی، طراحی، ساخت، مدیریت و فرآیند خدمات شبکه برق کمک کند [۸۹]. بنابراین، به طور قابل توجهی بر بهبود کارایی منابع انرژی شبکه برق و تخصیص منابع اطلاعاتی تاثیر می گذارد [۹۱-۸۹].

چالش های Digital Twins

همه گیری COVID-19 باعث رشد اندازه بازار Digital Twins در برنامه های مختلف، از جمله املاک و مستغلات، مراقبت های بهداشتی، انرژی و خرده فروشی شد و چشم انداز رشد بازار را هدایت کرد. به این ترتیب،

www.nrc.com

انتظار می رود چندین کشور راه حل های Digital Twins را به عنوان بخشی از فعالیت های اصلاحات اقتصادی خود اجرا کنند [۹۲]. به همین ترتیب، برای بهبودی از اختلالات اقتصادی ناشی از همه گیری، چندین سازمان نیز از فناوری Digital Twins برای بهینه سازی زنجیره های تامین و فرآیندهای عملیاتی خود استفاده می کنند. شتاب فعلی عمدتا با کاهش هزینه های فناوری هایی امکان پذیر شده است که هم اینترنت اشیا و هم Digital Twins را تقویت می کنند. علاوه بر این، در چند سال گذشته، Digital Twins از برنامه های تجاری حیاتی استفاده کرد و پیش بینی می شود که این فناوری به موارد استفاده، برنامه ها و صنایع بیشتری گسترش یابد. در نتیجه، کاربردهای فناوری های Digital Twins به طور تصاعدی در حال رشد بوده است. علاوه بر این، شرکت های ابری مانند Google Cloud و Microsoft Azure پلتفرم های Digital Twins مبتنی بر ابر را برای دسترسی آسان و راه حل های سفارشی راه اندازی می کنند. به عنوان مثال، در ژانویه سال ۲۰۲۲، Google Cloud یک راه حل Digital Twins زنجیره تامین را معرفی کرد تا صنعت تولید را در معرض دید عملیات در زنجیره تامین خود قرار دهد [۹۲]. ظهور Industry 4.0 و اینترنت اشیا همچنین پذیرش فناوری Digital Twins را در برنامه های مختلف تسریع کرده است. Industry 4.0 از روش های تولید نوآورانه و فناوری های پیشرفته مانند رایانش ابری، اینترنت اشیا، تجزیه و تحلیل، Digital Twins، اسکن دیجیتال، چاپ سه بُعدی و هوش مصنوعی استفاده می کند. فناوری Digital Twins در ابتکارات Industry 4.0 به عنوان نقطه عطف مرکزی است. صنایع بیشتر و بیشتری به طور فعال از راه حل های Digital Twins برای مدیریت دارایی و چرخه عمر محصول استفاده می کنند. این فناوری به شرکت ها این امکان را می دهد که یک کپی مجازی از محصولات و فرآیندهای خود ایجاد کنند و آن ها را قادر می سازد تا از قبل تصمیمات لازم را اتخاذ کنند.

همان طور که تا این جا بحث شد، فناوری Digital Twins مزایای بسیاری دارد. با این حال، این فناوری در حال حاضر با چالش های مشترک به موازات فناوری های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا مواجه است. این ها شامل استانداردسازی داده ها، مدیریت داده ها، امنیت داده ها و همچنین موانعی بر سر راه پیاده سازی آن و تغییر سیستم قدیمی است. سایر چالش های فهرست شده در ادبیات شامل نیاز به بروزرسانی زیرساخت قدیمی فناوری اطلاعات، چالش های اتصال، حریم خصوصی و امنیت داده های حساس و فقدان یک رویکرد مدل سازی استاندارد شده‌است، چالش های مهمی که احتمالا مانع رشد بازار Digital Twins شامل هزینه بالای استقرار، افزایش تقاضا برای نیرو و ذخیره سازی، چالش های یکپارچه سازی با سیستم های موجود یا نرم افزارهای اختصاصی و پیچیدگی معماری آن

است. پیاده سازی راه حل های Digital Twins پُرهزینه است و نیاز به سرمایه گذاری قابل توجهی در پلتفرم های فناوری (حسگرها، نرم افزار)، توسعه زیرساخت، نگهداری، کنترل کیفیت داده ها و راه حل های امنیتی دارد. علاوه بر این، حفظ زیرساخت Digital Twin می تواند پُرهزینه باشد و به سرمایه گذاری قابل توجهی در عملیات نیاز دارد. انتظار می رود که هزینه ثابت بالا و زیرساخت پیچیده Digital Twins ، استقرار فناوری های Digital Twinرا کُند نماید.

مراجع

[1] Gartner. Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use. (2019).
[2] Gartner. Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use. February. (2019).
[3] Gartner. Top strategic technology trends. (2022)
[4] Global Market Insight. Digital twin market. (2022)
[5] Technavio. Digital twin market by end-user, deployment, and geography - Forecast and analysis 2021–2025, (2022)
[6] Researchandmarkets. Digital twins market by technology, twinning type, cyber-to-physical solutions, use cases and applications in industry verticals 2022–2027, (2022).
[7] Fu Y., Zhu G., Zhu M., et al. Digital twin for integration of design-manufacturing-maintenance: An overview. Chin. J. Mech. Eng., 35 (80) (2022).
[8] Qinglin Qi, Fei Tao, Tianliang Hu, Nabil Anwer, Ang Liu, Yongli Wei, Lihui Wang, A.Y.C. Nee, Enabling technologies and tools for digital twin, J. Manuf. Syst. 58 (Part B) 3–21.
[9] Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. Characterizing the digital twin: A systematic literature review. CIRP J. Manuf. Sci. Technol., 29 (Part A) (2020), pp. 36-52.
[10] Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. IEEE Access, 8 (2020), pp. 108952-108971.
[11] Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. IEEE Access, 8 (2020), pp. 21980-22012.
[12] Stark R., Damerau T. Digital twin. The international academy for production engineering. Chatti S., Tolio T. (Eds.), CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Springer, Berlin Heidelberg (2019), pp. 1-8.
[13] Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 51 (11) (2018), pp. 1016-1022.
[14] Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital twin in industry: State-of-the-art. IEEE Trans. Ind. Inf., 15 (4) (2018), pp. 2405-2415.
[15] Bolton R.N., Mccoll-Kennedy J.R., Cheung L. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms. J. Serv. Manag., 29 (5) (2018), pp. 776-808.
[16] Negri N., Berardi S., Fumagalli S. MES-integrated digital twin frameworks. J. Manuf. Syst., 56 (2020), pp. 58-71.
[17] M. Grieves, Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication, White Paper, 2014, pp. 1–7, Online.

www.nine.com - گروه نابیر

[18] Tao F., Sui F.Y., Liu A. Digital twin-driven product design framework. Int. J. Prod. Res., 57 (12) (2019), pp. 3935-3953.
[19] Boschert S., Rosen R. Digital twin—the simulation aspect. Hehenberger P., Bradley D. (Eds.), Mechatronic Futures, 978-3-319-32154-7, Springer. International Publishing, Switzerland (2016), pp. 59-74.
[20] Grieves M., Vickers L. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer (2017).
[21] Guo J., Zhao N., Sun L. Modular based flexible digital twin for factory design. J. Ambient Intell. Humaniz. Comput., 10 (3) (2019), pp. 1189-1200.
[22] M. Grieves, Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication, White Paper, 2015, Online: -03-01).
[23] Uri J. 50 Years ago: Houston, we've had a problem, (2020).
[24] Panetta K. Gartner's top 10 technology trends 2017, (2016).
[25] Marketsand Markets. Digital twin market by enterprise: Application, industry, and geography-global forecast to 2027, (2022).
[26] Lv Z., Xie S. Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics, (2021).
[27] Attaran M. The Internet of Things: Limitless opportunities for business and society. J. Strateg. Innov. Sustain., 12 (1) (2017).
[28] Shu Z., Wan J., Zhang D. Cloud-integrated cyber–physical systems for complex industrial applications. Mob. Netw. Appl., 21 (5) (2016), pp. 865-878.
[29] Hou L., Wu S., Zhang G., Tan Y., Wang X. Literature review of digital twins applications in construction workforce safety. Appl. Sci., 11 (1) (2020), p. 339.
[30] Marr B. What is extended reality technology? A simple explanation for anyone. Aug 12, 2019 (2019).
[31] Chiara C., Elisa N., Luca F. Review of digital twin applications in manufacturing. Comput. Ind., 113 (December) (2019), Article 103130
[32] Geng R., Li M., Hu Z., Han Z., Zheng R. Digital twin in smart manufacturing: Remote control and virtual machining using VR and AR technologies. Struct. Multidisc. Optim., 65 (2022), p. 321.
[33] Havard V., Jeanne B., Lacomblez M., D. Baudry. Digital twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. Prod. Manuf. Res., 7 (1) (2019), pp. 472-489
[34] Redelinghuys A., Basson A., Kruger K. A six-layer digital twin architecture for a manufacturing cell Borangiu T., Trentesaux D., Thomas A., Cavalieri S. (Eds.), Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, Springer International Publishing, Cham (2019), pp. 412-423.
[35] Qiao Q., Wang J., Ye L., Gao R.X. Digital twin for machining tool condition prediction. Procedia CIRP, 81 (2019), pp. 1388-1393.
[36] Warke V., Kumar S., Bongale A., Kotecha K. Sustainable development of smart manufacturing driven by the digital twin framework: A statistical analysis. Sustainability, 2021 (2021), p. 13.
[37] Bilberg A., Malik A.A. Digital twin driven human–robot collaborative assembly. CIRP Ann., 68 (2019), pp. 499-502.
[38] Qi Q., Tao F. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360-degree comparison. IEEE Access, 6 (2018).

[39] Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S.. Digital twins in smart farming. Agric. Syst., 189 (2021).
[40] Rosen R., Wichert G.von., Lo G., Bettenhausen K. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Ottawa, Vol. 1 (2015), pp. 1-13.
[41] Dinter R.V., Tekinerdogan B., Catal C. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. Inform. Softw. Technol., 151 (November) (2022), Article 107008.
[42] Bhatti G., Mohan H., Singh R.R. Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. Renew. Sustain. Energy Rev., 14 (2021).
[43] R.G. Alves, G. Souza, R.F. Maia, A.L.H. Tran, C. Kamienski, J.P. Soininen, P.T. Aquino, F. Lima, A digital twin for smart farming, in: IEEE Global. Humanitarian Technology Conference, GHTC (2019-10), 2019, pp. 1–4.
[44] Erdélyi V., Jánosi L. Digital twin and shadow in smart pork fetteners. Int. J. Eng. Manag. Sci., 4 (1) (2019), pp. 515-520.
[45] Ghanishtha B., Harshit M., Singh R. Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. Renew. Sustain. Energy Rev., 141 (2021) (2021), Article 110801.
[46] Tao T., Cheng J., Qi Q., Zhang M., Zhang H., Sui F. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 94 (2018), pp. 3563-3576.
[47] Liu Y., Zhang, Yang L., Zhou Y., Ren L., Wang L., et al. A novel cloud-based framework for the elderly healthcare services using digital twin. IEEE Access, 7 (2019), pp. 49088-49101.
[48] Gahlot S., S.R.N. Reddy, Kumar D. Review of smart health monitoring approaches with survey analysis and proposed framework. IEEE Internet Things J., 6 (2) (2019), pp. 2116-2127, (2019).
[49] El Saddik A. Digital twins: The convergence of multimedia technologies. IEEE MultimediaMag., 25 (2) (2018), pp. 87-92.
[50] Ross D. Digital twinning information technology virtual reality. Eng. Technol., 11 (2016), pp. 44-45.
[51] Tekinerdogan B., Verdouw C. Systems architecture design pattern catalog for developing digital twins. Sensors, 20 (2020), p. 5103.
[52] Forbs. What is digital twin technology - And why is it so important. March 6, (2017).
[53] Schleich B., Anwer N., Mathieu L., Wartzack S.. Shaping the digital twin for design and production engineering. CIRP Ann., 66 (1) (2017), pp. 114-144, (2017).
[54] Attaran M., Attaran S. Collaborative supply chain management: The most promising practice for building efficient and sustainable supply chains Bus. Process Manag. J. (2007).
[55] Blomkvist Y., Ullemar Loenbom L.E.O. Improving Supply Chain Visibility Within Logistics by Implementing a Digital Twin: A Case Study at Scania Logistics. KTH Institute of Technology, Stockholm, Sweden (2020).
[56] Dohrmann K., Gesing B., Ward J. and Digital twins in logistics - A DHL perspective on the impact of digital twins on the logistics industry (2019).
[57] T.D. Moshood, Nawanir G., Sorooshian S., Okfalisa O. Digital twins driven supply chain visibility within logistics: A new paradigm for future logistics. Appl. Syst. Innov., 4 (29) (2021).
[58] Kang Z., Catal C., Tekinerdogan B. Remaining useful life (Rul) prediction of equipment in production lines using artificial neural networks, Sensors, 21 (2021), p. 932.
[59] USDA. What is agriculture's share of the overall US economy? Econ. Res. Serv. (2016)
[60] Hatfield J., Takle G., Grotjahn R., Holden P., Izaurralde R.C., Mader T., Marshall E., Liverman D. Ch. 6: Agriculture. Melillo J.M., Richmond Terese (T.C.), Yohe G.W. (Eds.),

Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment, U.S. Global Change Research Program, (2014), pp. 150-174
[61] Trienekens J.H., van der Vorst J.G.A.J., Verdouw C.N. Global food supply chains. van Alfen N.K. (Ed.), Encyclopedia of Agriculture and Food Systems (second ed.), Academic Press (2014), pp. 499-517, 2014
[62] Laryukhin P., Skobelev O., Lakhin S., Grachev V., Yalovenko O., Yalovenko O. The multi-agent approach for developing a cyber–physical system for managing precise farms with digital twins of the plant. Cybern. Phys., 8 (4) (2019), pp. 257-261.
[63] Purcell W., Neubauer T. Digital twins in agriculture: A state-of-the-art review. Smart Agric. Technol., 3 (February) (2023), Article 100094.
[64] Ahmed A., Zulfiqar S., Ghandar A., Chen Y., Hanai M., Theodoropoulos G. Digital twin technology for aquaponics: Towards optimizing food production with dynamic data driven application systems Tan G., Lehmann A., Teo Y.M., Cai W. (Eds.), Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems, Vol. 1094, Springer, Singapore (2019), pp. 3-14.
[65] Hasan I., Habib M. Blockchain technology to ensure traceability of agriculture supply chain management. Int. Supply Chain Technol. J., 8 (2022), p. 9.
[66] Jo S.K., Park D.H., Park H., Kwak Y., Kim S.-H. Energy planning of pigsty using digital twin. International Conference on Information and Communication Technology Convergence, Vol. (2019-10), ICTC, IEEE (2019), pp. 723-725.
[67] Seng-Kyoun. Jo, Dae-Heon. Park, Hyeon. Park, Se-Han. Kim, Smart Livestock Farms Using Digital Twin: Feasibility Study, in: Published in: 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC. 17-19 2018. Jeju, Korea (South), 2018.
[68] KPMG. The AI-enabled digital twin for life sciences, (2021).
[69] Dassault Systems. The living heart project, (2022).
[70] FutureBridge. Digital twin simulating the bright future of healthcare. October 21, (2021).
[71] Subramanian K. Digital twin for drug discovery and development—The virtual Liver J. J. Indian Inst. Sci., 100 (4) (2020), pp. 653-662.
[72] Forbs. Meet your digital twin: The coming revolution in drug development. September 29, (2021).
[73] De Benedictis A., Mazzocca N., Somma A., Strigaro C. Digital twins in healthcare: an architectural proposal and its application in a social distancing case study. IEEE J. Biomed. Health Inf., XX (XX) (2022), p. XXXX
[74] Xiong M., Wang H. Digital twin applications in aviation industry: A review. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 121 (9–10) (2022), pp. 1-16
[75] Woodrow B.I.I.I. Boeing CEO talks 'Digital Twin' era of aviation. September 14, (2018).
[76] National Institute of Building Sciences. National BIM Standard-United States Version 3. in Section 4.2: Construction Operation Building Information Exchange (COBie)–Version 2.4 (1–252), National Institute of Building Sciences, Washington DC (2015).
[77] Karan E.P., Irizarry J. Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services, Autom. Constr., 53 (2015), pp. 1-12.
[78] Tang S., Shelden D.R., Eastman C.M., Pishdad-Bozorgi P., Gao X. A review of building information modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT) devices integration: Present status and future trends, Autom. Constr., 101 (2019), pp. 127-139.
[79] De-Graft J.O., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M. Digital twin application in the construction industry: A literature review. J. Build. Eng., 40 (2021) (August).

[80] Alizadehsalehi S., Yitmen I. Digital twin-based progress monitoring management model through reality capture to extended reality technologies (DRX). Smart Sustain. Built. Environ. (2021).
[81] Sacks R., Brilakis I., Pikas E., Xie H.S., Girolami M. Construction with digital twin information systems. Data-Centric Eng., 1 (2020).
[82] Yang J., Park M.W., Vela P.A., Golparvar-Fard M. Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. Adv. Eng. Inform., 29 (2) (2015), pp. 211-224.
[83] Akanmu A.A., Anumba C.J., Ogunseiju O.O. Towards next generation cyber physical systems and digital twins for construction. J. Inf. Technol. Constr., 26 (2021), pp. 505-525.
[84] IntellectSoft. Advanced imaging algorithms in digital twin reconstruction of construction sites. January 17, (2018).
[85] Menassa C.C. From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. J. Inform. Technol. Construct. (ITcon), 26 (5) (2021), pp. 58-83.
[86] Bai H., Wang Y. Digital power grid based on digital twin: Definition, structure and key technologies. Energy Rep., 2352-4847, 8 (16) (2022), pp. 390-397.
[87] N. Mohammadi, J.E. Taylor, Smart city digital twins, in: Proc. IEEE Symp., Ser. Comput. Intell. (SSCI), 1–5, November, 2017.
[88] Francisco A., Mohammadi N., Taylor J.E. Smart city digital twin–enabled energy management: Toward real-time urban building energy benchmarking, J. Manage Eng., 36 (2) (2020), Article 04019045.
[89] Pargmann H., Euhausen D., Faber R. Intelligent big data processing for wind farm monitoring and analysis based on cloud-technologies and digital twins: A quantitative approach. Proc. IEEE 3rd Int. Conf. Cloud Comput. Big Data Anal., ICCCBDA (2018), pp. 233-237.
[90] Deloitte. The net zero workforce: Mining & metals. (2021).
[91] Rio Tinto, Innovation. Retrieved January 2, 2023.
[92] Global Market Insight. Digital twin market size, share & trends analysis report by end use (manufacturing, agriculture), by solution (component, process, system), by region (North America, APAC), and segment forecasts, 2022–2030, (2021).

www.mrt.ir